

冰箱压缩机变频调速控制研究

Research on Frequency Control of Inverter of Refrigerator Compressor

武汉纺织大学机械工程与自动化学院 黄志敏 (Huang Zhimin)

湖北理工学院机电工程学院 蔺绍江 (Lin Shaojiang)

黄石东贝电器博士后工作站 戴竞雄 (Dai Jingxiong)

华中科技大学能源与动力工程学院 何国庆 (He Guogeng)

摘要: 本文以LR88PY系列冰箱压缩机的电机作为研究和被控对象, 开展了冰箱压缩机变频调速控制方面的研究工作。通过采用变频板调频调压的控制方式, 将工频电网电压变换为频率可连续调节的交流电, 从而使得压缩机电机转速能在频率变化的交流电下进行平稳调速, 通过样机测试得出了压缩机电机转速随电源频率变化关系的曲线图, 数据结果表明通过采用变频板变频调速的控制方式, 压缩机电机的转速调速范围更宽、精度高、稳定性好, 具有良好的动静态性能。

关键词: 冰箱压缩机; 变频调速; 频率; 转速

Abstract: Based on the LR88PY series refrigerator compressor motor as the research and controlled object, this paper carried out the research work on the control of variable frequency control of refrigerator compressor. By using frequency conversion board FM surge control mode, the power frequency voltage change of power network for frequency can be continuous adjustment of alternating current (ac), so as to make the compressor motor speed can be smoothly under the frequency variation of ac speed regulation, obtained by prototype testing compressor motor speed change with power frequency relation graph, data results show that by using frequency conversion board frequency control of motor speed control mode, the compressor motor speed, more wide speed range and high precision, good stability, has a good dynamic and static performance.

Key words: Refrigerator compressor; Variable frequency speed control; Frequency; Speed

【中图分类号】P424.3+6 【文献标识码】B 【文章编号】1561-0330 (2018) 02-0081-06

1 引言

LR88PY系列冰箱压缩机属于往复式压缩机。压缩机曲轴的旋转运动是通过单相交流异步电机的驱动下完成的, 曲轴的转速随电机转速的变化而变化, 因此压缩机在启动、停止、低速、高速运行的过程当中都需要控制电机的转速。相对于传统的定频压缩机(固定频率、固定转速)而言,

变频压缩机则采用变频调速控制电路进行压缩机转速控制, 从而实现冰箱内温度的精确控制。

本文以LR88PY系列冰箱压缩机电机作为研究和被控对象, 对压缩机电机变频调速系统的原理和控制进行了研究, 以为冰箱压缩机变频控制的深入分析与研究提供基础数据和理论参考。

2 冰箱压缩机

2.1 冰箱压缩机组成结构及其工作原理

压缩机(compressor)是冰箱制冷系统中的心脏, 它是一种将低压气体提升为高压气体的流体机械。主要由壳体、电动机、缸体、活塞、控制设备(启动器和热保护器)及冷却系统等组成, 其工作原理示意图如图1

所示。压缩机工作时，首先通过从内在制冷剂中吸取相应的低温制冷剂，然后进入冷凝器，将制冷剂做成制冷剂，然后通过电机运转带动活塞进行输送压缩，在冰箱的内循环上进行运动。当液态制冷剂再通过膨胀阀，因冷气流膨胀阀后，其受到遏制，因此出来后的冷气压力减小，温度下降，再变成液态制冷剂。最后将高温高压的气体由排气管排出，从而起到了降温的效果，并且制冷剂再次进入蒸发器，然后一直重复着制冷的循环系统，为冰箱的制冷循环提供动力，从而实现压缩、冷凝（放热）、膨胀、蒸发（吸热）的制冷循环。

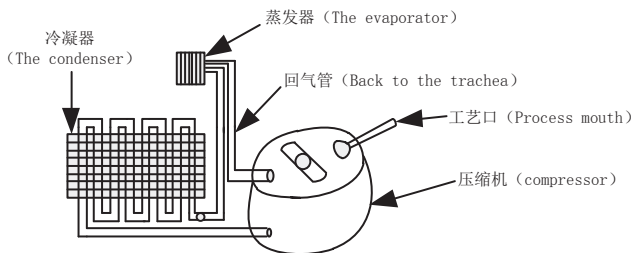


图1 压缩机工作原理示意图

2.2 冰箱压缩机变频调速系统

冰箱压缩机变频调速系统原理框图如图2所示，最左侧的L/N为电源进线端，我国的工频交流电为220V/50Hz。交流电通过公用电网接入以后，首先通过主控制板进行电力变换，主控制板电路采用AC-DC-AC的电力变换方式，即先通过二极管全桥进行整流，电容滤波，稳压成直流电以后；再经过IGBT全桥逆变，实现电网电压和频率的连续可调。变频板则为核心控制部件，通过采用IRMCF300系列芯片作为逆变器控制器频率控制器，把工频50Hz的电网频率变为50Hz~160Hz范围内的可变频率，对压缩机电机进行驱动控制，从而实现压缩机在不同频率控制下的运转，同时还增宽了电网电压的输入范围为165V AC至275V AC，有效的解决了由于电网电压波动不稳定所造成的压缩机不能工作的难题。

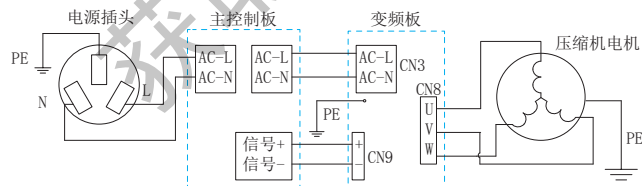


图2 压缩机变频调速原理框图

2.3 LR88PY 系列压缩机电机调速原理

单相交流异步电动机的工作原理是当在感应电动机的定子绕组上通入220V交流电后，在气隙中会产生以同步速度旋转的磁场；旋转磁场切割转子导体，在转子导体中

产生感应电动势；转子绕组自行闭合，转子中产生感应电流；转子绕组在磁场中受力，产生电磁转矩，驱动转子旋转。旋转磁场的转速公式为：

$$n_1 = \frac{60f}{p} \quad (1)$$

其中 f_1 为电网频率； p 为电机极对数。

感应电动机的转速 n 恒小于磁场转速 n_1 ，转差定义公式为：

$$Dn = n_1 - n \neq 0 \quad (2)$$

转差率为转差与磁场转速 n_1 之比，公式为：

$$S = (n_1 - n) / n_1 \quad (3)$$

由(1)、(2)、(3)式可以得到电机转速 n 的公式为：

$$n = (1 - S) n_1 = \frac{60f}{p} (1 - S) \quad (4)$$

由(4)式电机转速公式可知，电机的转速 n 与电机的极对数 p 、电源频率 f_1 以及转差率 S 有关，这里我们采用改变频率 f_1 的方式来控制电机的转速，相对于其它两种控制方式而言，改变电机供电频率相对比较容易，而且在压缩机低速运行的时候电机功率较低，节约电能。压缩机变频控制采用恒压频比（V/F）的控制方法，其控制原理框图如图3所示，通常为了防止压缩机电机起动电流过大，在给定信号之后加积分器，可以使信号转换成按设定斜率变化的斜坡信号，从而使压缩机电机的电压和转速都平稳地升高或降低。当电压信号经电压频率控制环节处理后，得出电压及频率的控制指令信号，经过PWM生成环节形成控制逆变器的PWM信号，再经过驱动电路控制变频板逆变器中IGBT的关断，使变频板输出所需要变化的电压和频率，从而控制压缩机电机的转速。

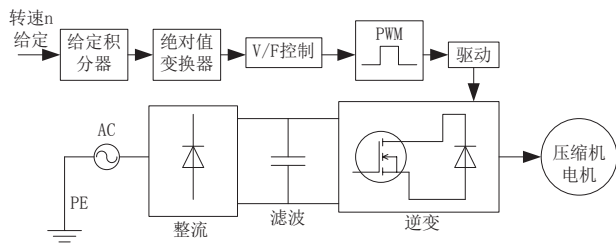


图3 V/F 控制框图

3 变频板硬件原理框图

变频板电路主要由工频电网电压电路、浪涌保护电路、EMC电路、主电路（逆变电路）、辅助电源供电电路、芯片控制电路、驱动电路、外部信号电路、检测电路等组成，其原理框图如图4所示。

主电路部分主要是对输入的交流电压进行AC-DC的

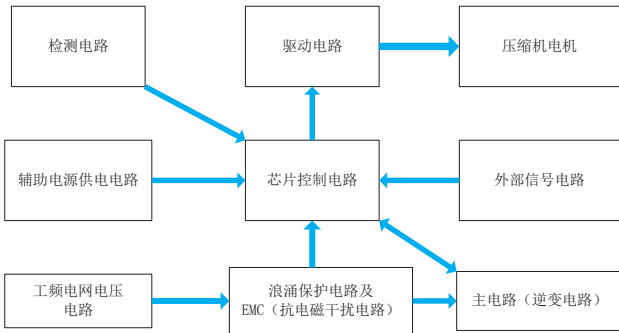


图 4 变频板硬件原理框图

整流变换功能，变频板在冰箱内实际运行时，为了防止瞬间的高压冲击，增加了浪涌保护电路，通过压敏电阻和大容量电容来实现；同时为了避免电磁对变频板电路的干扰及影响，还增加了 EMC 抗电磁干扰电路，通过共模电感电路实现。辅助电源的功能是提供 3.3V 直流电压为 IRMCF300 芯片供电以及其它外部设备电源的供给。芯片控制电路为变频板的核心控制部分，主要是通过软件控制算法，采用发送 PWM 波的方式，控制压缩机电机的转速随频率 f 的变化而变化。驱动电路的功能是驱动压缩机电机运转，因为芯片的 GPIO 口的驱动电流往往比较小，而电机定子绕组上的电流往往比较大，因此通过增设驱动电路对芯片 GPIO 口的信号进行驱动和放大，以驱动压缩机电机正常运转。检测电路的功能是检测过压、欠压、过流、过载及缺相保护等功能，当控制板输入电压超过过压保护点 275V AC，或低于欠压保护点 165V AC 时，控制板自动停止信号输出，当输入电压范围在 165V AC 和 275V AC 范围内时，控制板自动恢复运行。过流保护的功能则是当控制板输出电流大于 3.76A 时自动停止运行，停 30 秒再次自动运行。若该现象连续出现 5 次，则判断为故障状态，压缩机停机 5 分钟后，故障状态被解除，重新启动；如果温控器断开，故障状态也会直接解除。过载保护的功能是当控制板输出功率大于 434W 时自动停止运行，停 30 秒再次自动运行。若该现象连续出现 5 次，则判断为故障状态，压缩机停机 5 分钟后，故障状态被解除，重新启动；如果温控器断开，故障状态也会直接解除。缺相保护的功能是当控制板输出端 U、V、W 三相任意 1 相没有输出时，

控制器自动停止运行，以保护电机工作正常。逆变电路的功能则是实现 DC-AC 的逆变换，将 220V (50Hz) 的交流电变化成电压和频率均连续可调的交流电压，驱动压缩机电机平滑调速。

3.1 变频板逆变电路

变频板逆变电路是变频板电路最核心的部分，在将电源 220V 电压进行整流、滤波、稳压变成直流电以后，再把直流电逆变成交流电，这一过程也是我们通常所说的逆变，这里选取逆变电路进行简单的介绍。变频板电力电子变换电路采用 AC-DC-AC 的变频电路，前一部分为整流，后一部分为逆变，采用该方式的最大优点是输出频率不再受输入电源频率的在制约。通过采用 IRMCF300 系列芯片作为逆变器控制器的频率控制器，把工频 50Hz 的电网频率变为 50Hz~160Hz 范围内的可变频率，对压缩机电机进行驱动控制，从而实现压缩机在不同频率控制下的运转，变频板逆变部分电路如图 5 所示，逆变电路的核心是采用 IGBT 作为开关器件，通过调节和控制 IGBT 管子导通与周期时间比即占空比 (T_{ON}/T) 来进行控制，即采用 PWM 控制方式调压调频。

4 冰箱压缩机温控信号原理

电冰箱的主要任务是保证所储存的食品在经过冷冻、冷藏之后，其质、色、味不变，主要手段是通过保持箱体内的最佳温度达到食品保鲜的目的。目前市场上冰箱的温控方式主要有机械温控、电子温控和电脑温控等控制方式，

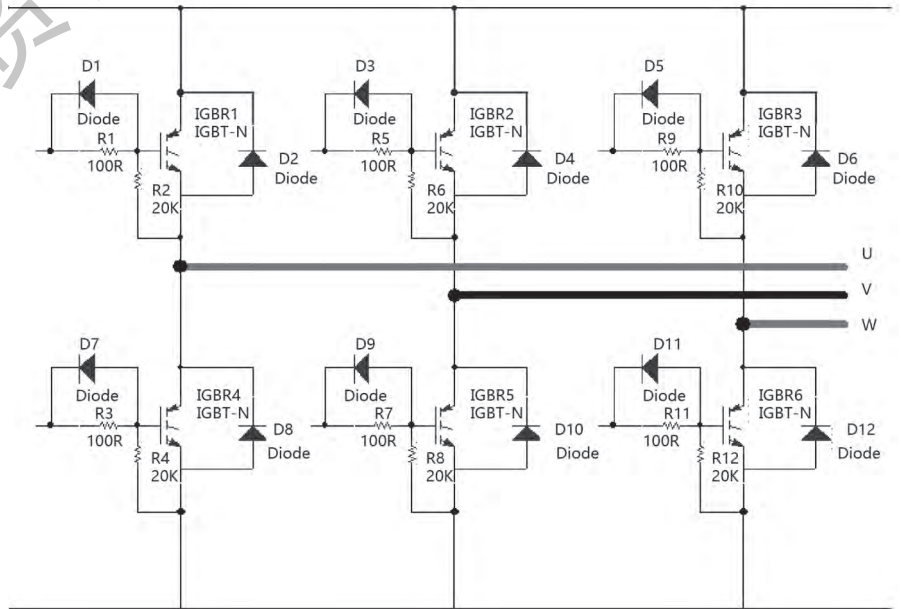


图 5 变频板逆变电路

它们的温度控制值都是事先设定好的，这就使得许多能量消耗在冰箱的一些多余的动作，容易造成器件的频繁开启，一方面造成器件损坏，温度的起伏较大，不利于食品保鲜；另一方面，浪费了大量能量。

传统的定频压缩机在运行过程中它的压缩机的定子频率是固定不变的，它的转速一般都是在 2900-3000r/min 之间，冰箱在运转的过程中，当冰箱的内部温度达到了设定温度值以后，压缩机就会停止运转；当温度上升之后，冰箱压缩机又会重新开始启动运转，如此频繁的开停，使冰箱的能耗大大增加。为此变频压缩机的研究变得越来越重要，变频冰箱中主要采用了变频技术来实现对冰箱压缩机转速的控制，在运转的过程中使冰箱能够使冰箱内的温度维持恒定、精确度高，减少了冰箱内部温度波动对食物保鲜所带来的冲击，有效的延长了食物的保鲜时间，它能够根据冰箱运行的需求进行精确的变频，让冰箱始终保持在最佳的运行状态，平衡冰箱内部的温度，不需要反复开停控制。变频压缩机采用温控器的通断信号来控制压缩机开停动作，控制信号电路方案如图 6 所示。

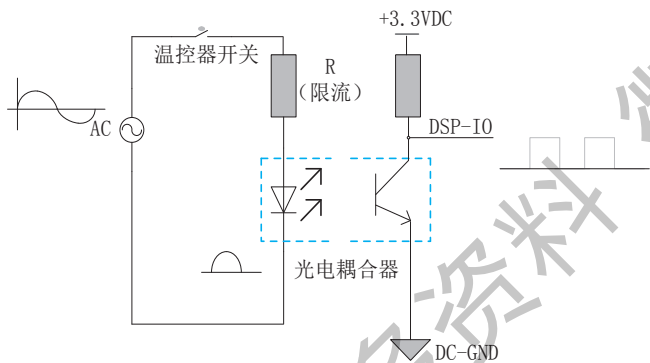


图 6 温控器信号电路

其基本工作原理是当外部电路有输入信号时，温控器开关闭合，电流经过限流电阻 R 以后，使发光二极管导通，由于采用了光电耦合器，另一侧的光电三极管在感受到光电信号后将导通，+3.3V DC 到光电三极管到信号地构成通路，DSP-IO 有信号则压缩机电机启动运转，当外部电路没有输入信号时，压缩机电机则停止运转。通过控制温控器的通和断来进行压缩机的开停控制，控制更加柔性化，减少了由于传统定频压缩机频繁启停所造成的能源损耗和噪声污染等问题。

5 变频压缩机测试

5.1 变频板测试原理框图

通过在实验室对压缩机实际工况进行实验测试，220V 电源电压经过调压器可以输入 165V AC 到 275V AC 范围

的电压等级，使输入电压可以连续调节，可以有效减少由于电网电压波动不稳定所造成的测试误差。同时配有多功能数字电能表检测输入电压和电流以及功率因素等。压缩机供电频率的变化则通过横河示波器显示，通过电流钳检测，实时动态显示压缩机电机供电频率 f 的变化。系统测试原理框图如图 7 所示。

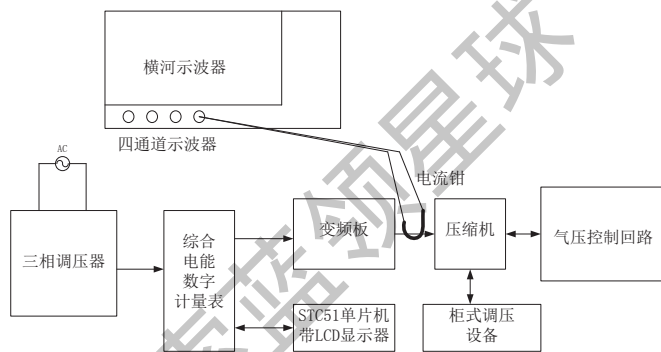


图 7 变频板测试原理框图

通过对大量的样机进行实验测试并记录，我们得出了一组压缩机转速随供电频率变化的实验数据，便将其绘制成关系曲线图，该图反映了压缩机实际工作时压缩机转速与频率的对应关系，如图 8 所示。压缩机外部信号频率范围为 50Hz 到 160Hz，对应电机转速为 1600rpm 到 4500rpm，当冰箱上电时，压缩机由 50Hz 到 54Hz 频率段工作一段时间，这一阶段通常称为压缩机的启动阶段，54Hz 到 128Hz 阶段压缩机电机定子供电频率上升，压缩机转速呈线性比例增长，当频率继续增加时，电机转速上升到 4000rpm 以上，最后当频率到达 160Hz 时，电机达到极限转速 4500rpm，以此为一个完整的升频变速周期。当我们需要控制电机转速为某一数值范围时，即可以通过给定某一频率信号，通过 IRMC300 系列芯片产生 PWM 波去控制 6 个 IGBT 逆变器的开通占空比，从而达到电机转速的调节，实现冰箱压缩机从低频启动减小对电网的冲击，高频快速制冷，当温度达到设定参数时，则进行低频运转，依次实现压缩机转速的平滑过渡和切换，在节约能耗的同时冰箱的保鲜和冷藏温度也实现了快速和精确的控制，也充分体现了变频压缩机在调速方面的优良性能。

6 结语

本文对冰箱压缩机的变频调速控制系统展开了分析和研究工作，通过采用 V/F 控制方式对压缩机电机转速进行调速控制。通过采用 IRMC300 芯片软件控制的方式，通过变频板输出一定频率的电压等级，从而控制压缩机电机

端子与 SD 接通,变频器的输出频率上升,电动机的转速上升,水泵的转速和流量也上升,从而使泵出口压力升高,当压力高于下限值时,电接点压力表的下限触点与公共端断开,变频器的 RH(升速)端子与 SD 也断开,变频器的输出频率停止上升,水泵的转速和流量保持不变,如果能满足用户的要求则泵出口压力恒定。

当压力由于用水流量较小而升高,并超过上限值时,电接点压力表的上限触点与公共端接通,从而把变频器的 RM(降速)端子与 SD 接通,变频器的输出频率下降,电动机的转速下降,水泵的转速和流量也下降,从而使泵出口压力下降,当压力低于上限值时,电接点压力表的上限触点与公共端断开,从而把变频器的 RM(降速)端子与 SD 也断开,变频器的输出频率停止下降,水泵的转速和流量保持不变,如果能满足用户的要求则泵出口压力恒定。如果泵的出口流量不能满足用户要求,则按照上述过程继续调整,实际上处于一个动态的平衡。

只要上、下限触点的位置安排适当,上述控制系统是能够满足一般水压控制精度要求的。如果对供水系统的水压精度要求很高,上述位式控制系统不能很好满足要求,此时可以通过变频器内置的 PID 功能来实现水泵的恒压供水。

5 总结

三菱变频器在外部运行模式下(pr79=2),按照频率给定方式不同,有模拟量给定和数字量给定两种方式。数字量给定具有频率精度较高、抗干扰能力强的特点,因此在这两种给定中,应该优先选择数字量给定。在实际的工程实践中,模拟量给定操作方便、成本低、可以实现电机的无级调速,因此也具有更为广泛的应用价值。模拟量给定分电压给定和电流给定,因为电流信号在传输过程中,不受线路电压降、抗干扰能力较强,因此在使用模拟量控制变频器的时候应该优先选择模拟电流信号给定。

参考文献

- [1] 郭艳萍. 变频器应用技术 [M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2008.
- [2] FR-D700 使用手册(基础篇)[Z]. 三菱电机自动化(中国)有限公司, 2008.
- [3] 郭艳萍, 张海红. 电气控制与 PLC 应用(第 2 版)[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013.

作者简介

肖世耀 (1982-) 男 硕士研究生 工程师 研究方向为机电液一体化技术

(上接 84 页)

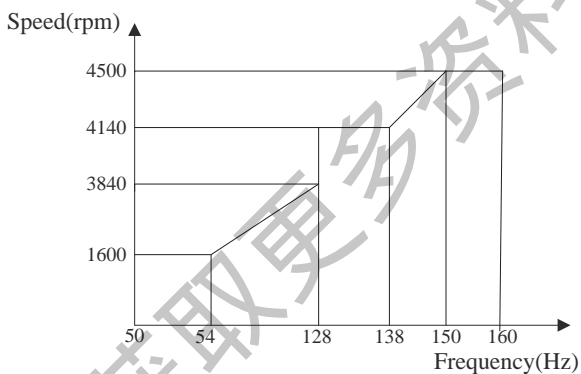


图 8 频率与转速对应关系

输出对应的转速,实现冰箱的制冷循环。通过实验测试得出了压缩机定子供电频率 F 随电机转速 S 变化关系的曲线图,为后期变频压缩机调速的分析与研究提供理论参考。

参考文献

- [1] 闫天勇. 冰箱压缩机用直线电机的研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2008: 79.
- [2] 张炜. 变频冰箱压缩机电机驱动控制的研究 [D]. 广东: 广东工业大学, 2011: 82.

- [3] 李焕文. 智能冰箱控制系统的研究 [D]. 辽宁: 沈阳工业大学, 2004: 84.
- [4] 盛陵江. 车载冰箱压缩机电机控制系统研究 [D]. 广东: 广东工业大学, 2007: 70.
- [5] 郝华杰, 申晓亮. 变频压缩机的研究现状 [J]. 制冷技术, 2010, 38(7): 52-54.
- [6] 吕肖, 邹伟, 徐立军. 变频技术在制冷压缩机领域中的应用现状 [J]. 制冷技术, 2015, 34(4): 87-90.
- [7] 王兆安, 刘进军等. 电力电子技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009: 214-217.
- [8] 张善房. 变频技术在冰箱中的研究与应用 [D]. 济南: 山东大学, 2007: 82.
- [9] 曾允文. 变频调速 SVPWM 技术的原理与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010: 1-7.
- [10] 阮毅, 陈伯时. 运动控制系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009: 122-125, 128-152.
- [11] 夏志慧. 变频空调压缩机控制系统的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007: 69.

作者简介

黄志敏 (1992-) 男 硕士 研究方向为机电一体化、检测技术与自动化装置